

n+m

Thieme

Landschaftsformen auf dem Grunde des Meeres

EUGEN SEIBOLD

Sonderdruck aus:
n+m „Naturwissenschaft und Medizin“
5. Jahrgang 1968, Nr. 25, Seite 25
herausgegeben von
Boehringer Mannheim GmbH

Landschaftsformen auf dem Grunde des Meeres

EUGEN SEIBOLD

Kontinente und Inseln sind nur ein kleiner Teil des Reliefs der Erdoberfläche: unter den Ozeanen und Meeren setzen sich Gebirge und Gräben, ja selbst die Bette der großen Ströme fort. In den letzten 20 Jahren sind außerordentliche Fortschritte in der Erforschung des Meeresbodens gemacht worden, doch überwiegen immer noch die weißen Flecke submariner terrae incognitae auf den Karten der untermeerischen Landschaft.

Auch im Hinblick auf den Meeresboden leben wir in einem zweiten Zeitalter der Entdeckungen. Während mit dem Beginn der Neuzeit die Küsten ferner Länder und Kontinente in das Bewußtsein des Menschen traten und auf Karten immer genauer festgehalten wurden, erleben wir heute eine fast explosionsartige Erweiterung unserer Kenntnisse über die Tiefen der Weltmeere. Vor wenigen Jahren wußte man beispielsweise noch nichts von einem stellenweise über 3000 m aus dem Meeresgrund aufragenden, etwa 5000 km langen Gebirgszug unter dem Indischen Ozean — dem »Östlichen Indischen Rücken« längs des 90. Längengrades. Er zieht sich mit nur wenigen Unterbrechungen von den Nikobaren nach Süden bis in die Breiten der Südwestspitze Australiens. Vor wenigen Jahren noch hat niemand es für möglich gehalten, daß vom Festland stammende Sande weite Teile des Tiefseebodens bedecken, oder daß im Flachwasser vor Südafrikas Küste Diamanten wirtschaftlich gewonnen werden können.

Diese Entdeckungen gehen vor allem auf das nach dem 2. Weltkrieg stark wachsende allgemeine Interesse am Meer zurück. Der gesteigerte Weltverkehr und Welthandel, die Suche nach zusätzlichen Nahrungs- und Rohstoffquellen, aber auch strategische Überlegungen beider Machtblöcke haben dieser Entwicklung Impulse vermittelt. Nur wo praktische Nutzung winkt, sind die Nationen auch bereit, die hohen Mittel für Forschungsschiffe und deren Ausstattung aufzubringen (Abb. 8).

Hinzu kommt der technische Fortschritt. Die Meeres-tiefen mußten bis in die zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts hinein mit Hand- oder Windenleinen Ort für Ort bestimmt werden — ein

ungenau und zeitraubendes Verfahren. Echolot und Echograph ermöglichten später kontinuierliche Messungen, bei denen das Schiff nicht zur Fahrtunterbrechung gezwungen war. Erst seit 1954 jedoch genügen diese Meßverfahren auch für exakte Angaben aus der Tiefsee, mit Genauigkeiten um $\pm 0,3\%$. Seitdem wächst die Lotungsdichte der Meere sozusagen stündlich. Dennoch sind weite Teile des stürmischen und landfernen südlichen Pazifischen Ozeans noch völlig unbekannt, gibt es im klassischen Meer der Welt, dem Mittelmeer, noch Felder mit 100 km Kantenlänge, aus denen bis heute noch keine Lotungen veröffentlicht wurden. Bei der Erforschung der Bodenbedeckung sind wir noch weit von einer kontinuierlichen Bestandsaufnahme entfernt. Noch immer sind wir auf Einzelproben vom Meeresboden angewiesen. Bei 3000 bis 3500 m Wassertiefe kostet ihre Bergung jeweils um 2 Stunden Schiffszeit! Noch immer muß dieses Material danach erst langwierig im Laboratorium untersucht werden.

Deshalb beruht beispielsweise die beste meeresgeologische Karte der ostchinesischen Flachmeere auf nur 982 genau untersuchten Sedimentproben — also auf einer Probe für je 1500 km². Den Persischen Golf darzustellen, wagte man noch 1956 mit nur rund 100 Proben — mit nur einer also auf fast 2000 km²! Erste Versuche einer Registrierung der allerwichtigsten Sedimenttypen vom fahrenden Schiff aus laufen jedoch gerade an. Ein Beispiel von der achten, im Jahr 1967 unternommenen »Meteor«-Fahrt wird das Verfahren verdeutlichen (Abb. 7).

Eine dringend notwendige Verbesserung für alle Zweige der Meeresforschung ist nicht zuletzt eine

a

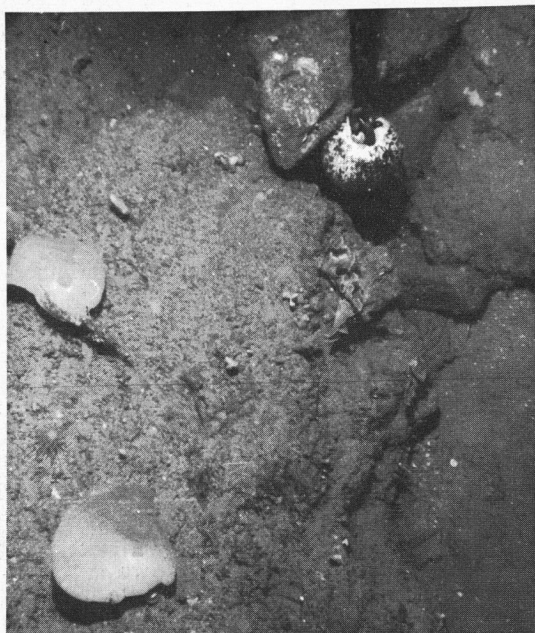


Abb. 1: Fotografien des Meeresbodens mit dem Unterwasser-Fernseh-Kamera-System des Forschungsschiffes »Meteor« (Ausschnitte etwa 50 x 70 cm).

Hartböden:

a) die Kugel des Kamera-Systems (oben) wurde an einem felsigen Überhang herabgelassen. Das Bild entstand in 70 m Tiefe vor der portugiesischen Küste. Aufgewachsene Fauna kennzeichnet diese Bodenform der Schelfregion.

b) Braunalgen auf Basaltbrocken der Ormondebank vor Portugal in 100 m Tiefe.

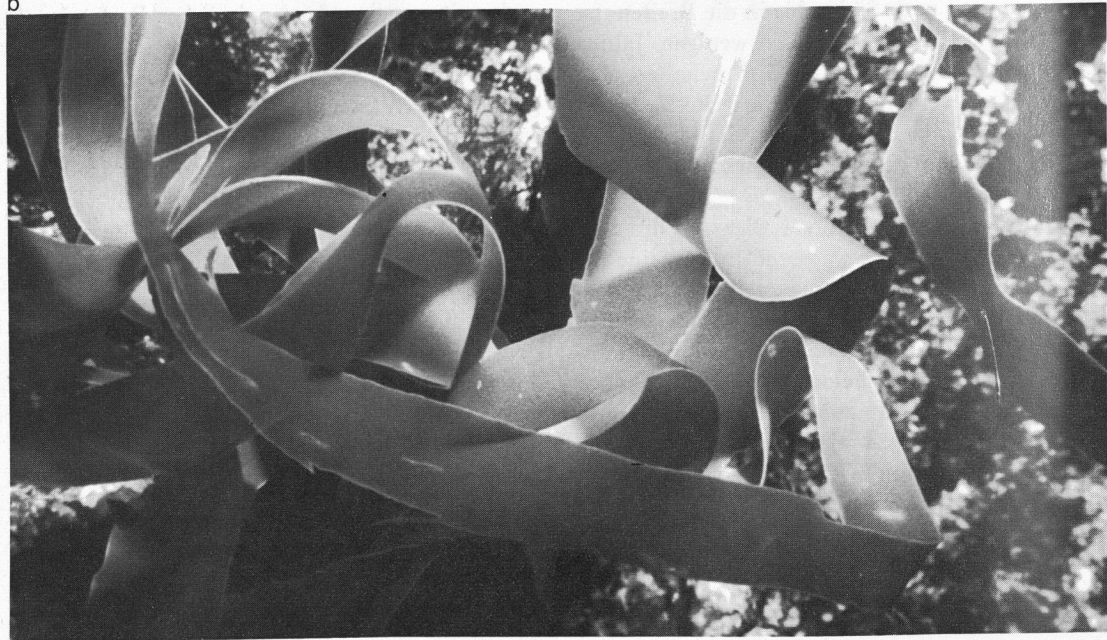
Weichböden:

c) Schlupflöcher der im Boden lebenden Tiere und einen Seestern zeigt dieses Bild, das in 75 m Tiefe im Persischen Golf entstand.

Sandböden:

d) Rechts ziehen sich Rippeln mit deutlichen Kämmen hin, Algenknollen finden sich in der Mitte. Aufnahme aus dem Persischen Golf in 25 m Tiefe.

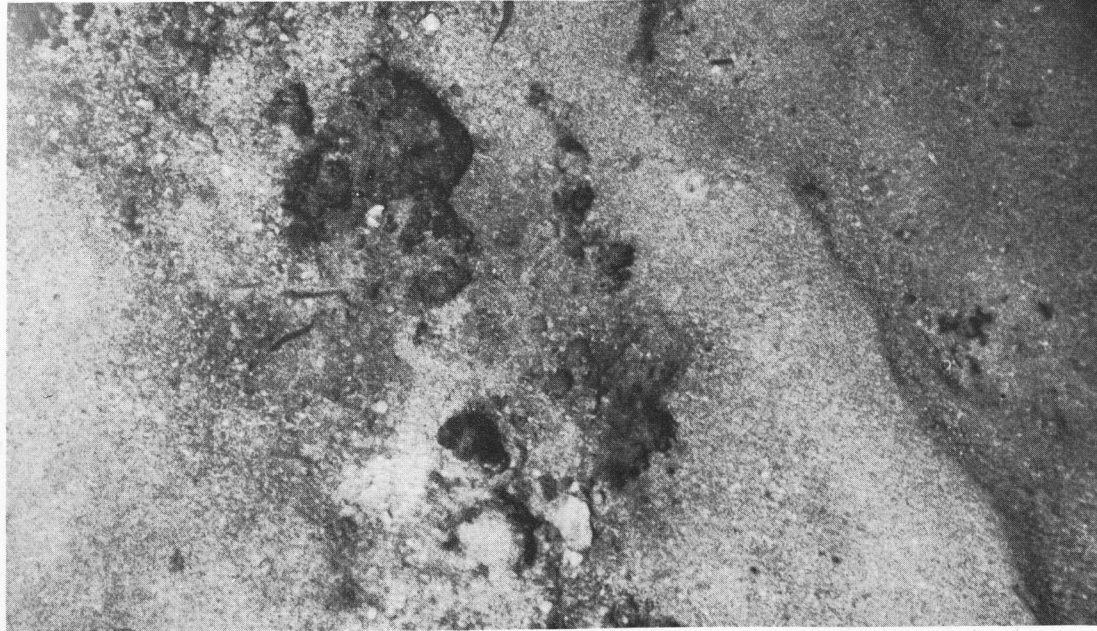
b



c



d



genauere Ortsbestimmung. Erst in den Zeiten von JAMES COOK, im 18. Jahrhundert also, war man in der Lage, durch die Entwicklung eines Chronometers für die Zeitmessung an Bord von Schiffen die Längen des Schiffsorts exakt zu bestimmen und damit Seekarten des Pazifischen Ozeans so genau zu fertigen, daß man neuentdeckte Inseln auch bei einer zweiten Fahrt wiederfinden konnte. Erst in unseren Tagen aber kommen wir durch die nun mögliche *Satellitenavigation* auf dem offenen Ozean über das Mittelalter hinaus, seit dessen Zeit man allein auf die astronomische Ortsbestimmung angewiesen war, und gelangen zu exakten und wetterunabhängigen Daten. Es gibt allerdings noch kein deutsches Forschungsschiff mit diesem Hilfsmittel.

Da es gilt, mit Hilfe all dieser Methoden 71 % der Erdoberfläche — so viel nämlich liegt unter den Meeren — zu untersuchen, ist es leicht zu ermes- sen, welche Arbeit noch vor uns liegt, welche Überraschungen noch auf uns warten und wie skizzenhaft das Folgende behandelt werden muß.

Die *morphologische Gliederung* des Meeresbodens ist in den großen Zügen recht einfach. Bekanntlich spricht man in horizontaler Sicht von Ozeanen, Mittel-, Rand- und Nebenmeeren, in vertikaler Sicht vom »Schelf« (0 — 200 m Wassertiefe), vom »Kontinentalhang« mit seiner flacheren »Fußregion« (200—4000 m), vom »Tiefseeboden« (4000 bis 5500 m) und den »Tiefseegesenken« (5500 bis 11 000 m). Vom Tiefseeboden ragen einzelne »Kuppen« oder langgestreckte »Rücken« empor wie der erwähnte »90-East-Ridge«, daneben aber auch kleinere Erhebungen. Diese Formen sind genetisch nicht zu erklären ohne die Kenntnis des Materials, aus dem sie bestehen oder mit dem sie bedeckt sind. Viele interessante, aber voreilige Schlüsse werden — wie übrigens auch auf dem Festland — allein von der Form abgeleitet, ohne das Material und damit auch die erdgeschichtliche Entwicklung zu berücksichtigen, was freilich spröde Arbeit zur Voraussetzung hat.

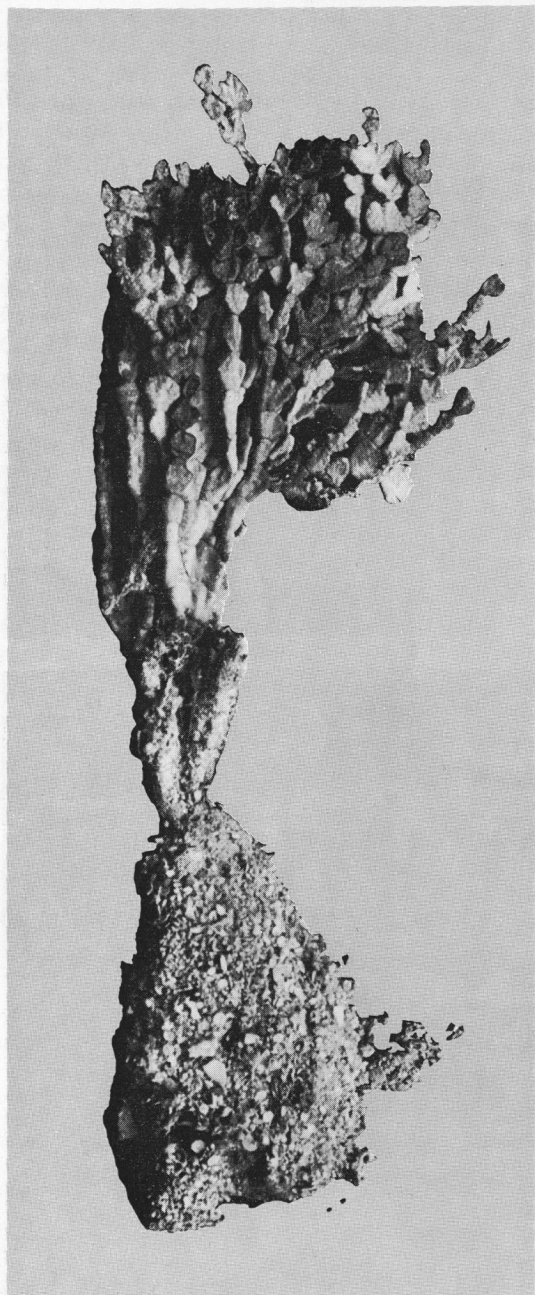
Die Meeresböden kann man recht grob nach ihrer Konsistenz in Hart-, Weich- und Sandböden einteilen.

Hartböden verraten im allgemeinen starke Wasserbewegung, die kein Lockermaterial endgültig zur Ruhe kommen läßt und damit den felsigen Untergrund freihält. Flächenhaft ist dieser Untergrund im seichten Wasser, etwa in der Nähe exponierter Küsten zu erwarten, was Helgoland zeigt. Manche Kuppen der Ozeane tragen jedoch gleichfalls Felsböden (Abb. 1 b), denn auch im tieferen Wasser kann die Wasserbewegung noch stark genug bleiben, um Lockermaterial wegzuspülen. Man denke etwa an den Felsboden in der Straße von Gibraltar, mit ihrer starken Strömung. In der Tiefsee kann andererseits in Landferne die Zufuhr von Material wiederum so unbedeutend sein, daß trotz geringer Strömung junge Lava-Ergüsse lange ohne Bedeckung, also nackte Felsböden bleiben. Man erkennt sie gelegentlich schon auf dem Echographen oder direkt mittels der Technik der Bodenphotographie und Unterwasserfernschaufnahme (Abb. 5). Felsböden bieten übrigens bei weitem das eindrucksvollste Erlebnis für den tauchenden Beobachter.

Abb. 2: Sandboden vom Watt der deutschen Nordseeküste (Großer Knechtsand). Am Rand eines Priels finden sich dezimeterhohe, asymmetrische Rippeln, die hier nach rechts steiler abfallen und damit eine Strömung von links anzeigen, kraft der das Wasser abfließt, als es an dieser Stelle noch höher stand. Zentimeterhohe Rippeln mit gleichem Strömungssinn sind den größeren Rippeln aufgesetzt; sie bildeten sich in der letzten Phase des zurückweichenden Wassers, kurz ehe der Sand trockenfiel.

Abb. 3: Weichboden auf den Bahamas. In wenigen Metern Wassertiefe siedeln kleine Korallen — gelbe »Porites« im Vordergrund — neben weichen (hellgrünen) und harten Grünalgen, Caulerpa und Halimeda. So nahe an der Oberfläche können diese Arten nur im ruhigen Wasser einer Lagune gedeihen.



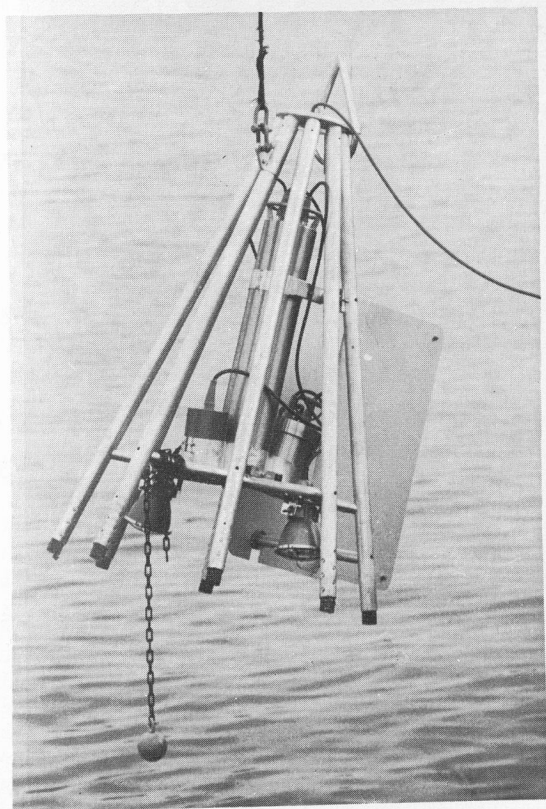


Fester Grund im Meer wird im flachen Bereich rasch von Pflanzen oder von Tieren besiedelt, die sich darauf festsetzen. Dazu gehören die meisten Algen (Abb. 1 b), vor allem die krustenbildenden, die massigen Korallen und dickschaligen Austern. Dieses sogenannte »sessile Benthos« verrät auf Bildern, daß hier festes anstehendes Gestein den Untergrund bildet (Abb. 1 a). Wenn man Glück hat, reißt auch die Gesteinsdredsche, die zum Herausholen von Bodenproben dient, einzelne Felsstücke los. Dieses Gerät besteht aus einem soliden Rahmen mit scharfen Kanten oder Zähnen und einem Auffangnetz oder einfach aus einer Stahltonne mit einem Siebboden. Die Dredsche wird vom Schiff über Grund geschleppt, wo sie sich natürlich leicht verhaken kann und dann abgerissen zu werden droht. Wegen der gleichen Gefahr sind solche Gründe auch schwer mit Grundschieppnetzen zu befischen (Fragen der Fischerei gehören übrigens durchaus zu den wirtschaftlichen Aspekten unserer Erkundungen). Wissenschaftlich bedeutsam ist vor allem, daß dem Ozeanographen der Felsboden Wasserbewegung anzeigt, oft an ganz unvermuteten Stellen. Am Kontinentallhang vor Portugal wurde von uns 1967 an vielen Punkten bis in rund 800 m Wassertiefe Fels angetroffen, also weit unterhalb der Oberflächenströmungen und Oberflächenwellen.

Weichböden bestehen aus feinsten anorganischen oder organischen Partikeln von oft weniger als 0,001 mm Durchmesser, die zusammenkleben und engste Poren aufweisen, aber trotzdem durch deren Zahl hohe Wassergehalte haben. Diese »bindigen« Böden sind im allgemeinen reich an Tonmineralen oder, bei Kalkschlammern, an Karbonatkriställchen. Wo derartig feines Material liegenbleiben kann, muß die Wasserbewegung entsprechend gering sein. Dies trifft vor allem bei Tiefseeböden weithin zu, aber auch bis in Küstennähe sind entsprechende Bedingungen zu finden. Man denke an stille Buchten oder an unser Nordseewatt, in dem man gerade vor dem Deich am

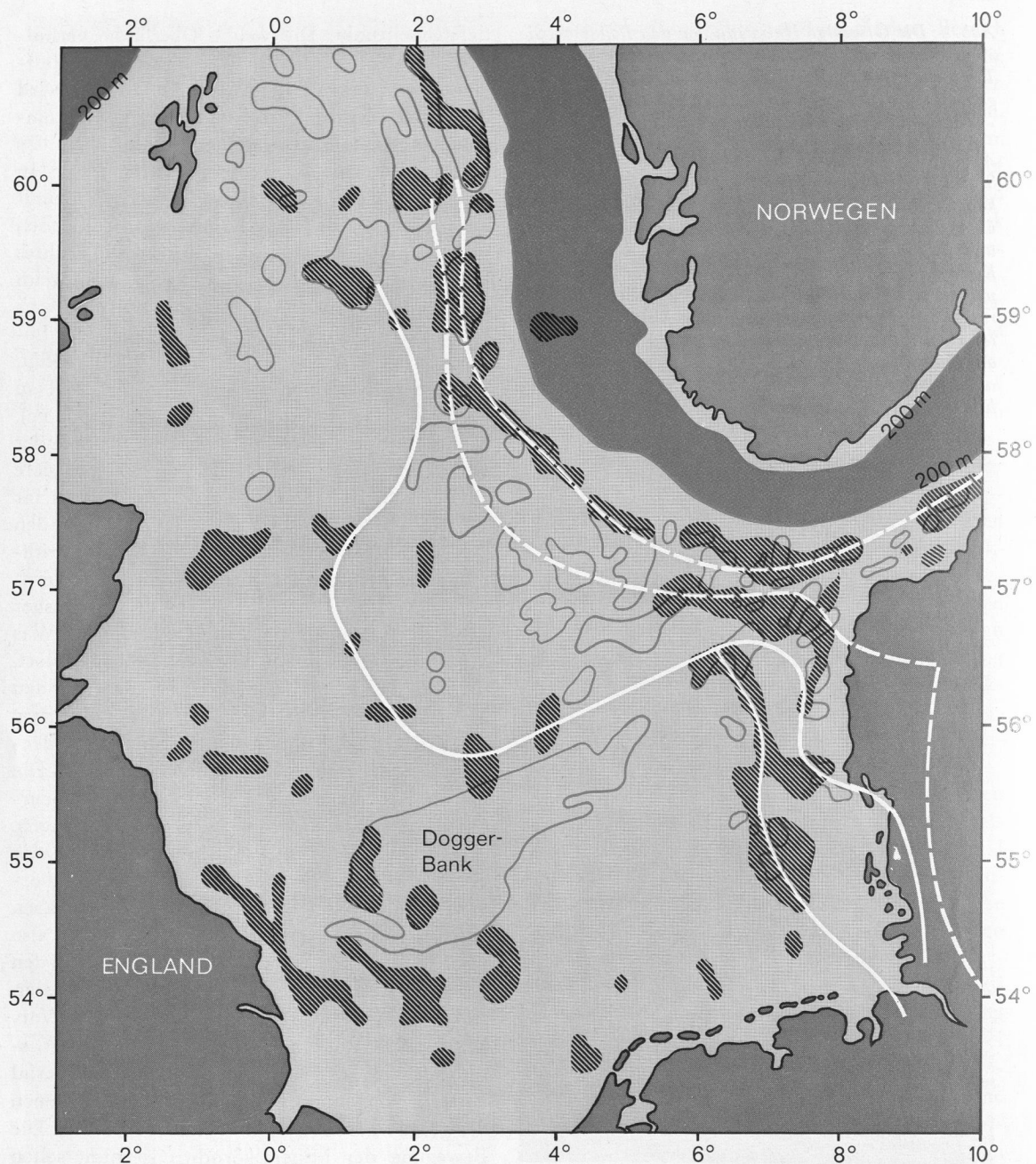
Abb. 4: Die Grünalge *Halimeda* von den Bahamas. Sie »wurzelt« in einem Sediment, das viele abgefallene Teilchen enthält, die im Gewebe dieser Algen aufgebaut wurden — gewissermaßen ein untermeerischer »Waldboden« (etwa natürliche Größe).

Abb. 5: Unterwasser-Fernseh-Kamera-System. Das Stativ hängt an einer Trosse oder an einem Mehrleiterkabel (rechts) und schwebt, solange in einiger Distanz über dem Meeresboden gearbeitet wird. Entfernung und Bildmaßstab werden nach der darunter an einer Kette hängenden Kugel bestimmt. In der Mitte sieht man den Zylinder mit der Fernsehanlage, links und rechts von ihm Kleinbildkamera und Blitzgerät, darunter zwei Scheinwerfer. Das Fernsehbild wird an Bord auf Magnetband genommen. Besonders interessante Beobachtungen können zusätzlich mit Blitzlicht und Kleinbildfoto festgehalten werden.



tiefsten einsinkt. Die weiche Oberfläche verhindert im allgemeinen die Besiedlung durch festgewachsene, sessile Organismen. Andererseits wird dieser Boden durch Wasserbewegung ja nicht umgelagert, weshalb sich zahllose Wühler durch das an organischen Stoffen reiche Sediment fressen. In der Ostsee gibt es Schlamm mit fast 20% Gehalt an organischer Substanz — für diese wühlenden und schlammfressenden Organismen ein wahres Schlaraffenland. Die Echogramme weisen weich einsetzende und nach unten lang ausgezogene Konturen auf, die Bodenbilder zeigen Hügel oder Löcher tierischer Baue, die aber nicht alle bewohnt, sondern meist verlassen sind, also eine viel zu große Besiedlungsdichte vortäuschen (Abb. 1 c). Mannigfaltige Greifer bringen die Schlammte der Oberfläche, Lote solche größerer Sedimenttiefe an Bord. Meist läßt man die letzteren durch ihr Eigengewicht — bis zu einer Tonne — in den Grund einsinken, durch sinnreiche Zusatzeinrichtungen wie Kolben im Lotrohr unterstützt. Kernlängen von 20 Metern Sediment gehören bisher dennoch zu den seltenen Ausnahmeerfolgen. Was die sessilen Organismen an den Weichböden stört, nämlich das leichte Einsinken, ist auch für den Menschen hinderlich, wenn er etwa Bohrtürme zur Erdöl- und Erdgasgewinnung auf den Meeresboden setzen oder Grundminen legen will. Die marine Bodenmechanik, die solche Fälle zu beurteilen hat, steht indes noch in den ersten Anfängen. Eine vermittelnde Stellung nehmen die Sandböden ein. Die Sandkörner aus Quarz, Feldspat, anorganischen oder organischen Kalkpartikeln haben Durchmesser von rund 0,06 bis 2 mm, haften also nicht so leicht zusammen. Diese »rolligen« Böden haben gröbere Poren, enthalten weniger Wasser, sacken normalerweise nur unbedeutend. Ihr Vorkommen läßt auf eine zumindest zeitweilige Wasserbewegung schließen, die alles feinere Material ausspült, das wiederum in ruhigeren Regionen die gerade beschriebenen Weichböden bildet. Die Bewegung der Mineralkörnchen ist nicht selten

nm



schon an der Oberfläche der Sandböden abzulesen, die oft wellig, »gerippt« erscheint (Abb. 1d u. 2). Die Rippeln können durch ihren asymmetrischen Außen- oder Innenbau die Transportrichtung des Sandes anzeigen. Derartige Bedingungen herrschen an vielen Küsten der Welt. Dieser wandernde Sand ist uns sehr willkommen, wenn er sich in natürlicher Weise zu weiten Sandstränden aufhäuft. Manchmal müssen allerdings die Seebäder vor der Badesaison durch künstliche Aufspülung nachhelfen. Der Spültransport in Rohren wird dabei durch den »rolligen« Charakter des Materials erleichtert. Der Sand kann andererseits jedoch auch unerwünscht sein, wenn er in Hafeneinfahrten gerät und sie verflacht. Die Häfen der Deutschen Bucht mit ihren langen, sandgefährdeten Einfahrten sind ein besonders aktuelles Beispiel, das Bauingenieure und Meereskundler vor schwierige Probleme stellt. Gelegentliche katastrophale Meeresströmungen, die sogenannten »Suspensionsströme«, befördern jedoch mit Geschwindigkeiten von fast 100 km pro Stunde Sande auch bis auf die Tiefseeböden hinab.

Wie bringt man Sandproben an Bord? Wieder durch Greifer, allerdings schwerere Typen, durch Schwerelote, die bis 3 Tonnen wiegen und großes Geschirr verlangen, schließlich auch durch Vibrationslote, die sich einrütteln. Wie sind diese Sandböden nun besiedelt? Am Sandstrand sieht man auf der Oberfläche ja fast keine lebenden

Tiere, von gelegentlichen Krabben abgesehen. Die meisten Bewohner dieser Region sind denn auch eingegraben, um sich vor Feinden zu schützen. Dieses Einwühlen muß sehr schnell geschehen, da ja Umlagerung, also Freispülung, zum Charakter dieser Böden gehört. Viele Muscheln, Stachelhäuter und Krebse, so die genannten Krabben, sind daher geschickte Wühler.

Wie einfach wäre die Meeresgeologie, wenn sie es nur mit diesen drei klar unterscheidbaren Typen von Böden zu tun hätte! Es gibt aber alle nur denkbaren horizontalen wie vertikalen Übergänge, die hier nicht behandelt werden können. Daher auch nur *einen* abweichenden Fall: In einer Stillwasserlagune auf den Bahamas finden sich Weichböden, die trotzdem reich mit Pflanzen und sessilen Tieren besiedelt sind. Dies wird dadurch ermöglicht, daß ein hoher Anteil gröberer Partikel von den Organismen selbst dem Meeresboden zugeführt wird (Abb. 3 und 4). Ein Blick auf regionale Zusammenhänge mag indessen interessanter sein als derartige Ausnahmen, weshalb wir uns wieder allgemeinen Erscheinungen zuwenden wollen.

Auf dem *Schelf* und in den flachen Nebenmeeren sind die absoluten Höhenunterschiede natürlich gering. Das Relief kann jedoch auch hier sehr reich gegliedert sein. Wo Gletscher während der Eiszeit Furchen und Senken aushobelten, wie vor Norwegen oder in der Ostsee, wo sie in Endmoränen ihre Fracht absetzten wie auf dem heutigen Nordseeboden (Abb. 6), tritt dies klar hervor. Ein anderes Extrem sind die in ihrer dreidimensionalen Struktur fast abenteuerlichen und für die Schifffahrt immer gefährlichen lebenden oder abgestorbenen Korallenriffe. Solche Extremformen können natürlich meist schon an der äußeren Gestalt erkannt werden, oft aber steht man angesichts einer Einsenkung ähnlich wie bei Luftbildern von unbekanntem Festland zunächst vor der Frage, ob es sich um einen Vulkankrater, ein Toteisloch, eine Karstdoline oder eine sonstige Bildung handelt.

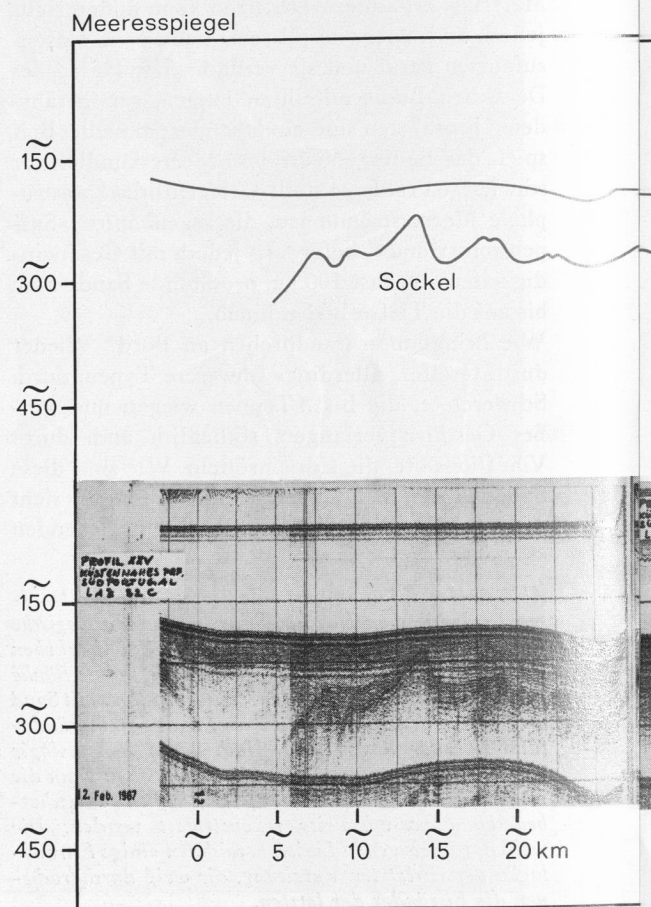
Abb. 6: Vereinfachte morphologische Karte der Nordsee. In den flachen Nordsee-Schelf ist die Norwegische Rinne eingetieft (dunkelblau). Auf dem Schelf erheben sich flache Bänke (durchgezogen umrandet; ohne Bänke der englischen Seite). Der Boden ist vor allem mit Sand und Schlick bedeckt. Es treten aber auch »Steingründe« (dunkelgrauer Raster) auf. Nach deren Morphologie und den jeweils am Ort gefundenen Geröllen kann die Lage von Endmoränen der eiszeitlichen Gletscherbedeckung versuchsweise rekonstruiert werden: Die weiß durchgezogenen Linien bezeichnen einige Eisrandlagen der vorletzten Vereisung, die weiß durchbrochenen die Eisränder der letzten.

Wieder müssen Materialproben oder ein »Blick in die Tiefe« zu Rate gezogen werden, wie ihn die modernen geophysikalischen Methoden erlauben (Abb. 7). Schelfböden können aber auch außerordentlich einförmig sein. Solche untermeerischen Ebenen finden sich vor der Mündung großer Ströme, etwa vor Sibirien oder im Gelben Meer. Manche Formen stammen noch aus den Kälte-Perioden der Eiszeit, als der Meeresspiegel durch die Bindung von Ozeanwasser in den riesigen Inlandeismassen abgesenkt war. In der letzten Kaltzeit mögen es 100–120 m, in der davor liegenden bis 160 m gewesen sein. Die Mündungen der Flüsse waren daher im Vergleich mit heute ins Meer hinein vorgeschoben. Die dazwischen liegenden Teilstrecken der Flußläufe sind nun zwar »ertrunken«, morphologisch aber unter Wasser gelegentlich noch zu ahnen, z. B. im »Urschatt« des Persischen Golfes oder zwischen Borneo und Java in einem ganzen System von Haupt- und Nebenflüssen. Da in den Kaltzeiten der Wind fast ungehindert von Vegetation und Relief über weite, damals trockengefallene Schelfregionen streichen konnte, verwundert es auch nicht, daß für manche Regionen, etwa die nördliche Adria, ertrunkene Dünenzüge angenommen werden.

Eine Erhebung von 50 m wird sich in einem 2000 m tiefen Meer nur wenig auf das Sedimentationsgeschehen auswirken, in einem 200 m tiefen Meer aber sehr drastisch. Im Kurischen Haff mit einer maximalen Wassertiefe von 5–6 m genügen schon Tiefenunterschiede von weniger als einem Meter, um völlig verschiedene Sedimente entstehen zu lassen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß sich auf dem Schelf und in den flachen Nebenmeeren sehr mannigfaltige Sedimente bilden.

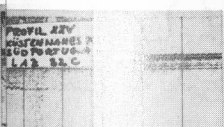
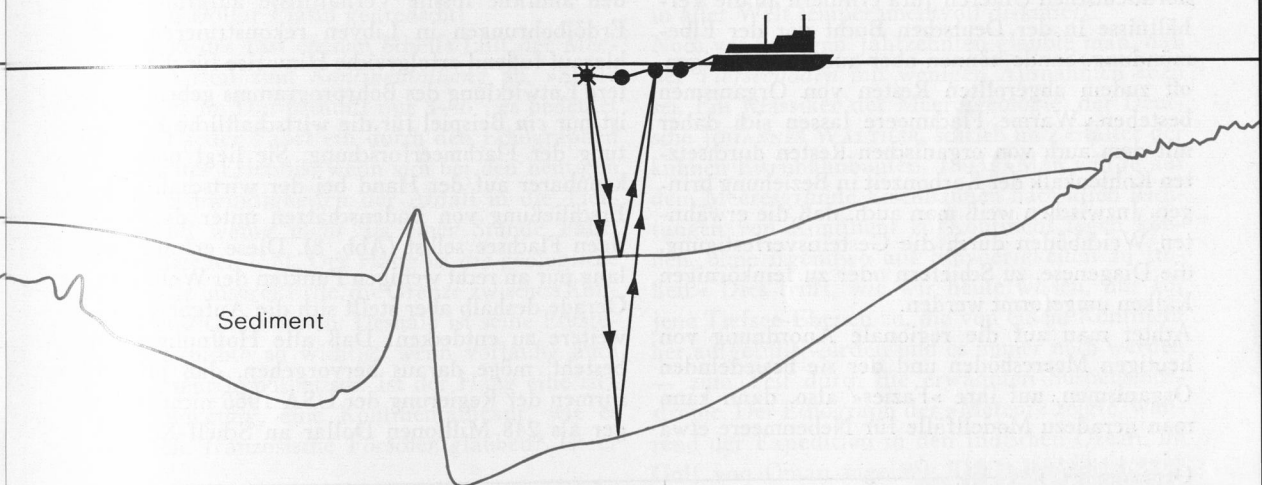
Die uns bisher auf den Kontinenten in natürlichen Aufschlüssen, Steinbrüchen, Bergwerken oder Bohrungen zugänglichen fossilen Meeresablagerungen mögen zu neun Zehnteln aus solchen Bereichen stammen. Deshalb läßt sich von der Bedeckung des Meeresgrundes eine für die Wissen-

Abb. 7: Reflexionsseismisches Arbeiten auf See. Oben Skizze, unten Original-Echogramm (Überhöhung etwa 1:50), aufgenommen mit dem Forschungsschiff »Meteor« 1967 vor Südwestportugal. Das Schiff lief etwa küstenparallel. Die Schallwellen von künstlichen, periodisch erzeugten Explosionen im Wasser werden am Meeresboden, aber auch in tieferen Schichten reflek-

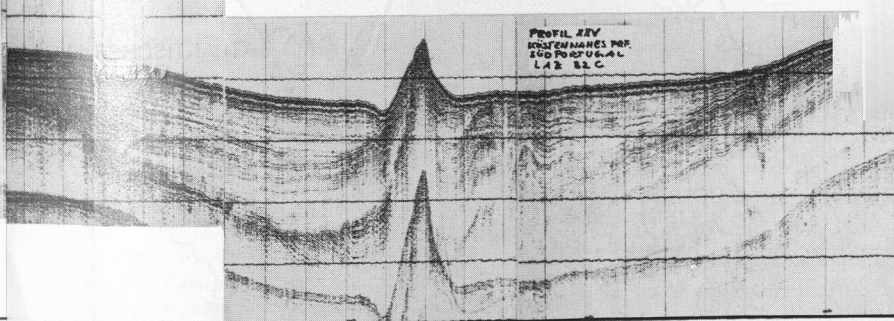


tiert und von geschleppten Hydrophonen aufgenommen. Diese Signale werden vom Echographen aufgezeichnet. Die Wiederholung ähnlicher Echolinien im Originalechogramm beruht auf mehrfachem Wiederhall der Schallwellen, meist infolge von Reflexion am Wasserspiegel. Das Ergebnis: Auf dem schallhärteren Sockel liegen die schallweiche, lockeren jungen Se-

dimente mit deutlich erkennbarer Feinschichtung. Der Sockel stößt in der Mitte des Bildes und am rechten Rand bis zum heutigen Meeresboden durch — ein Beispiel für die komplizierte Morphologie und Bodenbedeckung auf dieser Kontinentalschelf. Im Prinzip ähnliche Verfahren haben sich auch auf dem Festland bei geologischer Tiefenforschung bewährt.



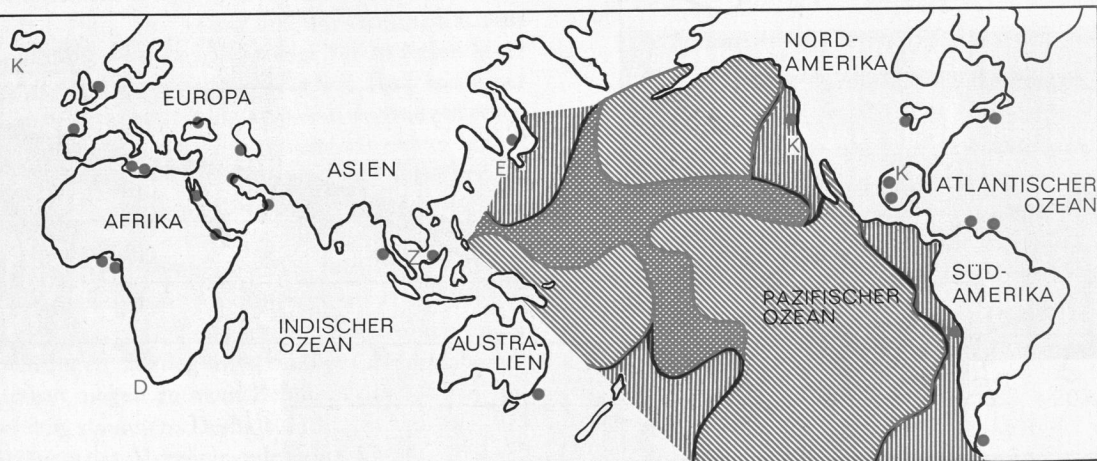
Überhöhung etwa 1:50



chaft ungemein wichtige Brücke zur Geologie schlagen. Wenn der Geologe z. B. die physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnisse im heutigen Meer in Erfahrung bringen kann, die mit den großen Sandfeldern verbunden sind, so lernt er dadurch auch die Entstehung fossiler, verfestigter Sande, also der Sandsteine, besser verstehen. Der aus der Keuperzeit stammende »Schilfsandstein« in Deutschland wird z. B. neuerdings auf ein Milieu zurückgeführt, das dem heutigen Mississippidelta geähnelt haben muß. Teile des norddeutschen Unteren Jura erinnern an die Verhältnisse in der Deutschen Bucht vor der Elbemündung. Sande können aber auch aus winzigen, oft zudem abgerollten Resten von Organismen bestehen. Warme Flachmeere lassen sich daher mit dem auch von organischen Resten durchsetzten Kohlenkalk der Karbonzeit in Beziehung bringen. Inzwischen weiß man auch, daß die erwähnten Weichböden durch die Gesteinsverfestigung, die Diagenese, zu Schiefern oder zu feinkörnigen Kalken umgeformt werden.

Achtet man auf die regionale Anordnung von heutigen Meeresböden und der sie besiedelnden Organismen, auf ihre »Fazies« also, dann kann man geradezu Modellfälle für Nebenmeere etwa

des humiden (feuchten) oder ariden (trockenen) Klimabereichs herausarbeiten. Am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Kiel untersuchen wir aus diesem Grunde gegenwärtig die Ostsee und den Persischen Golf. Man findet nach diesen Untersuchungen eine Parallele zur Ostsee in der nordwestdeutschen Unterkreide und im süddeutschen Unteren Jura, zum Persischen Golf in mancher Hinsicht im deutschen Zechstein. Im Vergleich mit der Faziesverteilung im heutigen Persischen Golf konnte einer unserer Doktoranden ähnliche fossile Verhältnisse aufgrund von Erdölbohrungen in Libyen rekonstruieren und hierauf fußend erfolgreiche Hinweise für die weitere Entwicklung des Bohrprogramms geben. Dies ist nur *ein* Beispiel für die wirtschaftliche Bedeutung der Flachmeerforschung. Sie liegt noch erkennbarer auf der Hand bei der wirtschaftlichen Erschließung von Bodenschätzen unter der heutigen Flachsee selbst (Abb. 8). Diese erfolgt bislang nur an recht wenigen Punkten der Weltkarte. Gerade deshalb aber stellt sich die Aufgabe, noch weitere zu entdecken! Daß alle Hoffnung dazu besteht, möge daraus hervorgehen, daß private Firmen der Regierung der USA 1966 nicht weniger als 248 Millionen Dollar an Schelf-Konzes-



sionen und -Abgaben bezahlt haben, allerdings vorwiegend für die Erdölsuche tief unter dem heutigen Meeresboden. Es sind darin indes auch Abgaben aus der Schwefel-, Sand-, Kies- und Schalengewinnung für die Bauindustrie und sonstige Zwecke enthalten. (Kalkschalen mariner Organismen sind überall dort wirtschaftlich interessant, wo sich auf dem küstennahen Festland keine geeigneten Kalksteinvorkommen finden.) In den letzten Jahren wurde vom Meeresboden längs der Küsten der USA aber auch jährlich für 1 Million Dollar Platin gedredst!

Am Rand des fast ebenen Schelfs fällt der Meeresboden steil zum *Kontinentalhang* ab. »Steil« heißt hier im Durchschnitt nur $3-6^\circ$, es bedeutet aber auf jeder Fahrt ein durch den Echographen vermitteltes Erlebnis, wenn sich bei den heutigen Schiffsgeschwindigkeiten der Abfall in die Tiefsee in oft wenig mehr als einer Stunde Fahrt nachvollziehen läßt. Der Hang ist die geologische Nahtstelle unserer Erde, die Grenze zwischen Kontinent und Ozeanboden. Deshalb ist seine Entstehungsgeschichte so wichtig, wenn vorläufig auch noch so sehr hypothetisch. Ist der Hang eine riesige Abbiegung, eine Kontinentalflexur, wie es vor allem französische Forscher glauben? Ist er

eine Abtreppe an Brüchen, wie man sie vor Kalifornien nachgewiesen hat? Ist er ein von den Kontinenten her aufgehäufter Schutthang, wie er vor dem Mississippidelta liegt? Ein weiteres Rätsel: An vielen Stellen der Erde wird dieser Hang durch tiefe, steilwandige Täler durchschnitten, die oft unmittelbar an der Küste beginnen. Diese submarinen Canyons weisen alle charakteristischen Züge festländischer Canyons auf, sind in junges Lockermaterial, aber auch in alte Granite eingeschnitten und werden hinsichtlich ihrer Entstehung in aller Welt temperamentvoll diskutiert.

Noch vor wenigen Jahrzehnten glaubte man, daß der *Tiefseeboden* mit wenigen Ausnahmen eben sei. Ein Klassiker der Meeresgeologie, der Deutsche JOHANNES WALTHER, schrieb im Zeitalter der kühnen Eisenbahnbauten, 1893: »Man würde auf dem Meeresgrunde Eisenbahnen nach allen Richtungen von Kontinent zu Kontinent legen können, ohne irgendwo auf Schwierigkeiten zu stoßen.« Dies trifft, wie wir heute wissen, nur für jene Tiefsee-Ebenen zu, die von einem Kontinent her aufgefüllt wurden und es immer noch werden — zum Teil durch die erwähnten Suspensionsströme. Der Echograph der »Meteor« zeigte, während der Expedition in den Indischen Ozean, im Golf von Oman tagelang Tiefen zwischen 3335 und 3340 m an, Werte, in die ja noch das Auf und Ab des Schiffes durch die Dünung einging. Solche Ebenen erstrecken sich nur dort weiter in das Meer hinein, wo die Sedimentzufuhr nicht von den Tiefsee-Gesenken aufgefangen wird. Diese begleiten den Kontinentalrand auf langen Strecken am Pazifik, sind aber im Indischen und Atlantischen Ozean selten. Zur Mitte der Ozeane hin wird das Relief immer unruhiger. Weite Hügelregionen, Becken mit Verbindungstälern, Seeberge in Kegelform oder mit gekappter Spitze (»Guyots«) wurden und werden entdeckt. Die markantesten Formen belegt man mit Namen, und auf neuesten Karten finden sich denn die Namen aller Forschungsschiffe und mancher Meereskund-

Abb. 8: Gegenwärtige kommerzielle Nutzung von Bodenschätzen aus dem Flachmeer. Rote Punkte = Erdöl und Erdgas, K = Kalkschalen, etwa zur Zementherstellung, D = Diamanten, E = Eisensande, Z = Zinnseifen«. Zusätzlich die Verbreitung der Manganknollen im Pazifischen Ozean: eisenreichere senkrecht rot schraffiert, nickelkupferreichere schräg blau schraffiert, kobaltreichere voll blau.

ler: »Große Meteorbank«, »Vemakuppe«, »Vitjas-Tief«, »Obgraben«, »Alfred-Merz-Kuppe«, »Hess-Guyot«, daneben aber auch »Gagarinbank« und ähnliche aktuelle Bezeichnungen. Das Relief steigert sich in den mittelozeanischen Rücken zu alpinen Formen. Lange hat man geglaubt, alle diese Erhebungen durch junge vulkanische Aktivität erklären zu müssen. Es mehren sich jedoch Anzeichen, daß außer porösen Laven, festen Basalten und schweren Gesteinen der Tiefe auch metamorphe, in die Tiefe gezogene und dort durch hohe Drucke und Temperaturen veränderte Gesteine am Meeresboden anstehen können, was die Unzahl von Theorien zur Entstehung der Ozeanbecken um neue bereichern muß.

Die erdgeschichtliche Erforschung der Bodenbedeckung der Tiefsee wird manche dieser Theorien verwerfen, manche erhärten. Sie geht im Prinzip heute noch von den meist winzigen organischen Resten der Tiefseesedimente aus. In älteren Schichten, etwa des Tertiärs, hilft die klassische »stratigraphische Methode«. Der Paläontologe erkennt an einzelnen Tier- und Pflanzenarten, die sich ja zum Teil »rasch« umbilden, das erdgeschichtliche Alter dieser Organismen und damit auch der sie umhüllenden Sedimente. Die jüngsten Schichten, die bisher meist als einzige durch die Sedimentlote erreicht werden, können jedoch vor allem durch jene Organismen datiert werden, die auf die Klimaschwankungen der Eiszeit reagierten. Die heutige Zonierung vieler Planktonten war beispielsweise in den Kaltzeiten äquatorwärts zusammengedrängt, was durch Untersuchung von Sedimentkernen festgestellt werden kann.

Zum Schluß noch ein Blick auf die wirtschaftliche Zukunftsbedeutung der Tiefseeböden:

In weiten Arealen finden sich dort die sogenannten Manganknollen, die eigentlich nur in den Tiefseegesenken fehlen. Stellenweise liegen sie dicht an dicht, fast wie ein Pflaster. Wären sie gleichmäßig über den Pazifischen Ozean ausgebreitet, so würde rund 1 g Manganknollen auf den

Quadratcentimeter Meeresboden kommen. Insgesamt ist dort also mit rund $1-2 \times 10^{12}$ Tonnen Manganknollen zu rechnen. Die Mehrzahl dieser Knollen ist nicht über 8 cm dick, so daß schon Pläne entwickelt wurden, sie kommerziell mit Saugpumpen vom Tiefseeboden zu fördern. Sie enthalten nämlich außer Ton und sonstigen Beimengungen grob 19 Gewichtsprozent Mangan, 14% Eisen, 0,8% Titan, 0,5% Kupfer, 0,4% Nickel und 0,3% Kobalt, wobei sich nach Abb. 8 regionale Unterschiede abzeichnen scheinen.

Dieser Zukunftsblick auf die wirtschaftliche Bedeutung der Tiefseeböden wie auch die erwähnten Hypothesen über ihre erdgeschichtliche Vergangenheit zeigen die Spannweite der hier noch offenen Probleme, machen aber auch verständlich, mit welch regem Interesse die Fachwelt und sonstige Interessierte jede meereskundliche Expedition verfolgen. Tiefbohrungen am Kontinentalrand mehren unser Wissen Tag für Tag, Bohrungen auf dem Tiefseeboden selbst werden in unseren Tagen begonnen. Die weißen Flecke auf den Tiefseekarten der Meere schwinden dahin. Ihre dritte Dimension — der Bereich der Sedimente und Gesteine darunter — liegt für uns allerdings noch im Dunkeln, liegt als Ziel noch vor uns, wie Indien vor Columbus. Vielleicht gibt es auch hier Überraschungen, vielleicht ist auch hier — ein »Amerika« zu entdecken.